

자동차 충돌해석 전용프로그램(AutoCRASH)를 이용한 정면/측면 충돌해석



강 신 유*



김 현 영**

독자적인 자동차 충돌해석용 프로그램 개발 및 응용기술을 목표로 Explicit 수식화, 셀 요소의 정식화, 교체요소의 정식화, 비선형스프링 요소의 개발, 초탄성 고무재료의 개발, Hourglass 제어, 접촉알고리즘 정식화 등의 프로그램의 기본 모듈을 구성하였고, 그래프 출력용 포스트 프로그램을 개발하였다. 비선형스프링, 에어백 모듈, 안전벨트 모듈 등이 개발되었으며, 차체구조물들의 정면·측면 충돌해석을 수행하고 상용충돌해석프로그램들과 그 결과를 비교하여 개발된 프로그램의 신뢰성을 확인하였다. 또한, 측면충돌 모델을 사용하여 설계초기단계에서 빠른 해석을 수행할 수 있도록 하는 Hybrid 모델링 기법을 개발하여 기존의 쉘모델의 결과와 비교·검토하였다. Hybrid 모델링시 조인트 부의 특성을 측면해석 모델에 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

1. Program의 구성

AutoCRASH는 자동차 충돌해석 적용 프로그램으로서 Table 1의 구성도와 같이 Explicit 시간적분법을 사용하는 3차원 탄소성 유한 요소 해석 프로그램이다. 이 프로그램은 Reduced 1점 Gauss 적분법을 사용하며, Hourglass 제어 기법을 이용한 대변형 비선형 요소를 도입하였고, 반복 해법에 소요되는 시간을 없애고 기억 저장 용량을 절약하기 위하여 강성 행렬을 구성하는 Implicit 해법을 지양하고 특정한 운동 방정식을 부분적으로 푸는 Explicit 적분법을 이용하였다.

이론에 기초한 충격-접촉 알고리즘의 도입과 동시에 재료의 가공 경화와 변형률 속도 효과를 고려한 비선형 탄소성 구성방정식을 정식화하였다. 또한 계산 시간의 극소화를 위하여 새로운 알고리즘의 도입, 사용자가 편리하게 이용하고 수정·보완할 수 있도록 전-후 처리 processor를

* 강원대학교 정밀기계공학과, 교수

** 강원대학교 정밀기계공학과, 교수

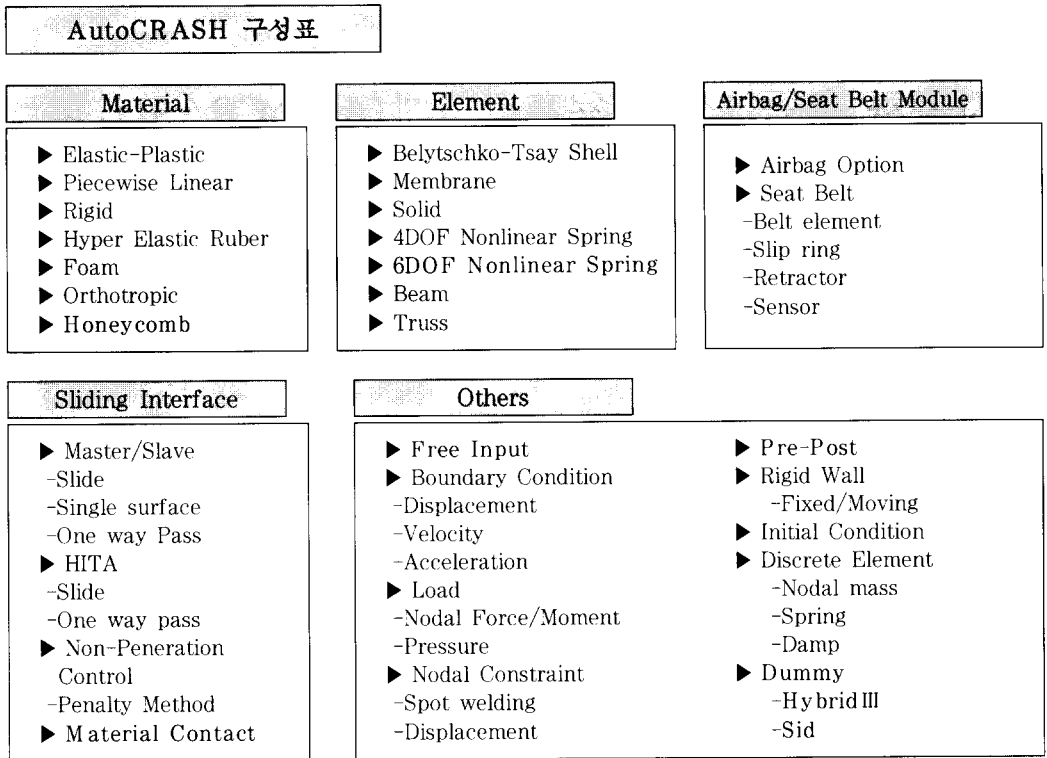


Table. 1 Organization chart of Auto-CRASH

개발하였다.

AutoCRASH는 입력과 계산 및 출력의 세 단계로 구성되며, 전처리 프로그램으로는 "Auto Mesh Generation Program"과 후처리 프로그램으로는 "AutoPost"가 있다.

AutoCRASH의 전처리과정인 입력단계에서는 Elastic-Plastic, Piecewise Linear, Rigid, Hyper Elastic Rubber, Foam, Orthotropic의 물성재료와 Belytschko-Tsasy Shell의 4·3절점 요소 및 고체요소 (solid element), 비선형 스프링요소 (nonlinear spring element) 등의 요소와, Boundary Condition, Initial Velocity, Load, Fixed/Moving Rigid Wall 등을 지원한다.

Time Integration Explicit Code를 사용하는 AutoCrash의 계산단계에서는 두 물체간의 접촉 (contact)을 처리하는데 있어, Master-Slave Algorithm(Slide with Separation, Single Surface,

One Pass Algorithm)과 HITA Algorithm(Slide with Separation, One Pass Algorithm)이 사용되며, 두 물체간의 Non-Petration Condition을 만족시키기 위해서 Penalty Method의 사용 및 Stiffness Form, Viscous Form의 방법으로 Hourglass 제어할 수 있다.

2. 측면충돌해석

2.1 측면충돌해석

측면충돌에 대한 실험은 크게 북미와 유럽의 측면충돌시험으로 양분된다. 근본적으로 두 시험들은 표준화된 바리어가 사용되고, 기계적인 더미가 일반승객을 근사화시키기 위해서 사용된다. 이는 점은 유사하나 바리어의 변형특성, 총질량, 크기, 충격위치, 속도, 충격방향과 실험에 사용되는 기계적 더미의 상해기준이 다르다. 본 논문에서

서는 북미 규정인 FMVSS 214 규정을 사용하였다. 북미 규정에서는 이때 강성 45psi의 중앙 알루미늄 허니컴 블럭(central aluminum honeycomb block)과 범퍼의 역할로서 전면부에 알루미늄재료로 이루어진 바리어를 사용하도록 되어있다. 총 바리어의 질량은 1368kg이고, 충돌방향은 두개의 움직이는 차량의 충돌을 묘사하기 위해서 정지 실험방향에 대해서 법선방향으로 27°의 각도로 비스듬히 충돌을 일으킴으로서, 이 실험은 실제 현실과 매우 근사한 효과를 볼 수 있다, 바리어의 충돌속도는 55km/h이며, 실험에 사용되는 더미는 US-SID더미로, 상해기준은 늑골과 골반에 대해 최대 하중치에 바탕을 둔다. Fig. 1은 미국에서의 측면충돌의 설정을 보여준다.

2.2 측면충돌 해석 모델

Fig. 2는 측면충돌해석을 위한 유한요소 모델로서 향후 측면충돌해석을 위해서 Ford사의 "Taurus full car" 모델을 사용하여 측면충돌해석을 위한 모델링 기법을 분석하고자 하였다. 모델은 크게 Full car와 MDB(Moving Deformable Barrier)로 구성되어 있다. 유한요소 Taurus 모델에 사용된 절점(node) 수는 58,361개이고, 셸요소(shell element)는 48,291개, 빔요소 (beam element)는 142개, 고체요소(solid element)는 6,038개이다.

본 논문은 프로그램 개발 단계에서 각종 시험 규정에 관한 적용 범위 검증과 개발 초기단계에

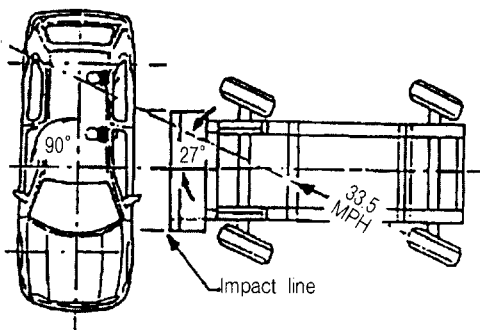
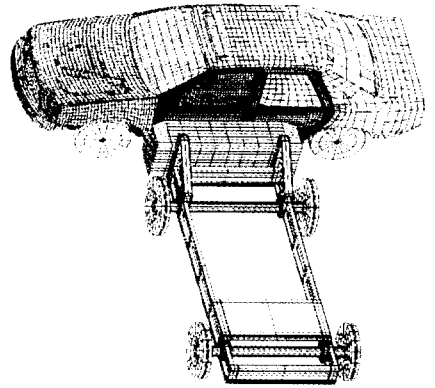
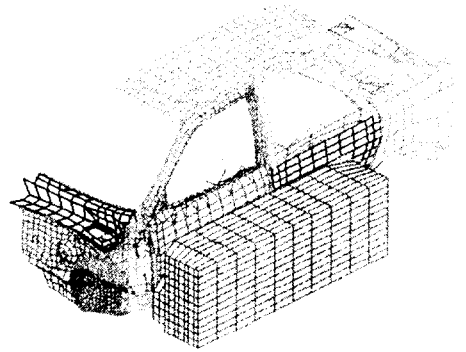


Fig. 1 The present side impact tests configuration (NHTSA)



(a) Full car side impact model



(b) Half side impact model

Fig. 2 F.E. taurus full car model for side impact analysis

유용하게 사용할 수 있는 Hybrid model 개발이 목적이므로, Fig. 2(b)와 같이 단순화한 모델을 사용하여 기준으로 설정하였다.

2.3 측면충돌 해석용 Hybrid 모델링

2.3.1 단면부재의 단순 모델링

Hybrid Model은 셸모델의 해석결과로부터 주요 부재의 변형양상을 관찰하여 이루어졌다. 여기에서는 주로 굽힘변형을 받는 필라류와 Cross-Member류에 대해서는 등가의 굽힘강성을 받는 빔모델로 치환하였으며, 변형이 거의 발생하지 않은 Roof부분과 Cowl부분에 있어서는 강체 빔을 사용하여 변형을 억제하였다.

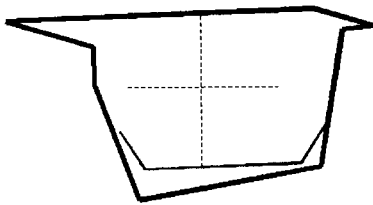
셀요소 해석을 통해 굽힘변형을 받는 부재에 대하여 보요소로 치환하였다. Fig. 3은 각각 이때의 A-pillar, B-Pillar에 대한 단면형상과 단면을 등가의 굽힘특성을 갖는 보요소로 치환시켰을 때의 굽힘반력-회전 특성을 그래프로 나타낸 것이다.

2. 3. 2 joint 부위의 단순 모델링

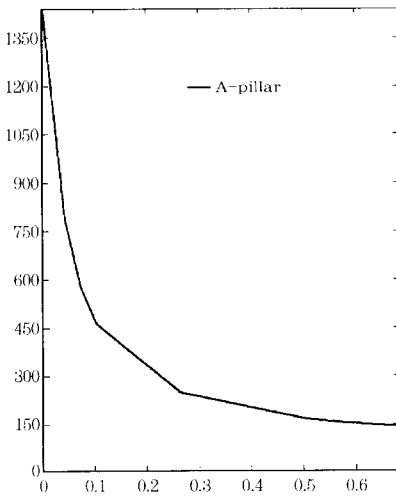
joint 부위의 특성을 따르는 단순 빔-스프링 모델링 방법과 타당성을 검증하기 위해 조인트 부위를 시험할 수 있는 지그 장치를 제작하였으며, Fig. 4와 같이 동일한 상황에서 실제 차량의 upper joint에 대하여 시험과 해석을 수행하였다.

Fig. 5에서 변위-반력 그래프를 비교하였을 때 시험과 해석이 근접함을 알 수 있다.

joint부의 적절한 모델링 방법을 알아보기 위해 Fig. 6과 같이 joint부를 보요소로 모델링한 경우와



(a) Section view of A-Pillar



(b) Moment-rotation relationship

Fig. 3 Section property of A-Pillar



(a) Initial configuration



(b) Deformed shape at 80mm deflection

Fig. 4 Comparison of test and simulation

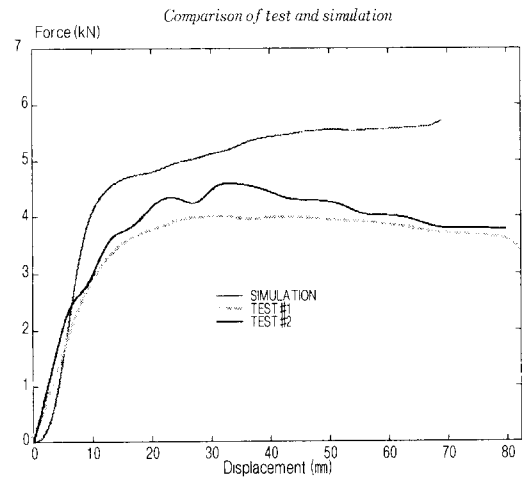


Fig. 5 Comparison of force-deflection characteristics

비선형 스프링 요소로 모델링한 두가지 경우로 제작하여 그 특성을 시험 결과와 비교 하였다. Fig. 7의 반력 그래프를 통해 두 모델링 방법에 관해 비교해 보면 비선형 스프링 요소를 사용한 경우가 시험과 더 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

2. 4 Hybrid model을 이용한 측면충돌 해석

Hybrid model은 셀모델의 해석결과로부터 주요 부재의 변형양상을 관찰하여 이루어졌다. 여기에

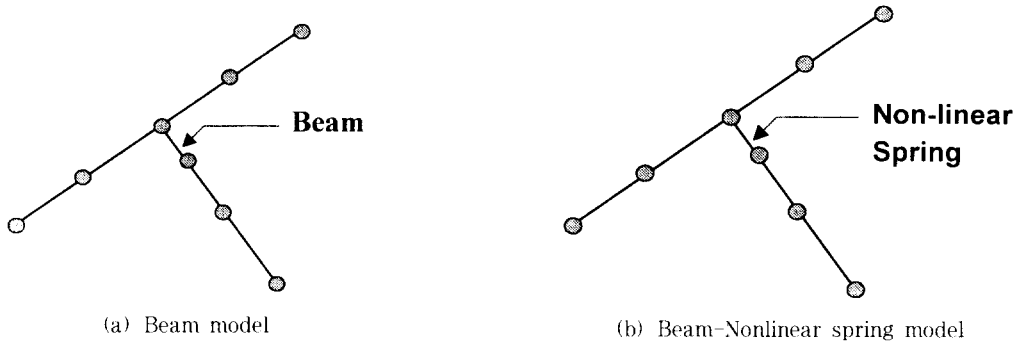


Fig. 6 Schematic view of joint part modeling

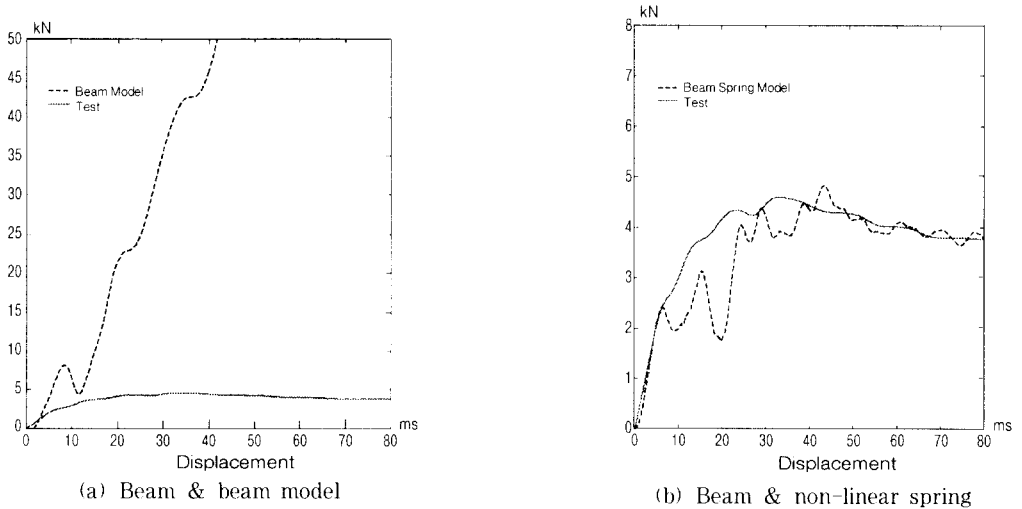


Fig. 7 Comparison of reaction force

서는 주로 굽힘변형을 받는 필라류와 Cross-Member류에 대해서는 등가의 굽힘강성을 받는 빔모델로 치환하였으며, 변형이 거의 발행하지 않은 Roof 부분과 Cowl부분에 있어서는 강체 빔을 사용하여 변형을 억제하였다. 또한 B-pillar upper 부위 및 B-pillar lower부위에 joint에 해당하는 부위에 대해서는 굽힘-반력 특성을 해석한 결과를 이용한 비선형 스프링 요소를 사용하였다. Hybrid Model에는 2041개의 절점과 937개의 셸요소, 그리고 41개의 빔요소가 사용되었다. Fig. 8에서 초기 상태에서 hybrid model을 비교한 그림을 보여준다.

Hybrid Model을 이용하여 차체에 대해 측면 충돌해석을 수행하였을 때의 변형 모습을 Fig. 9에

나타냈다. Fig. 10에서 각각 변형 모습과 이때 barrier의 침입 속도를 셸모델 해석결과와 비교하면 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

해석 시간을 비교해 보면 Hybrid모델을 사용하여 해석을 수행한 결과 약 4배정도의 시간을 절약할 수 있었다(셸모델:2600 초, Hybrid모델:700초).

3. 정면 충돌해석

3.1 정면 충돌해석

해석에 사용되는 유한요소모델은 인터넷에서 자료를 다운로드 받은 Honda Civic모델이며 Fig. 11에 보여진다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 해

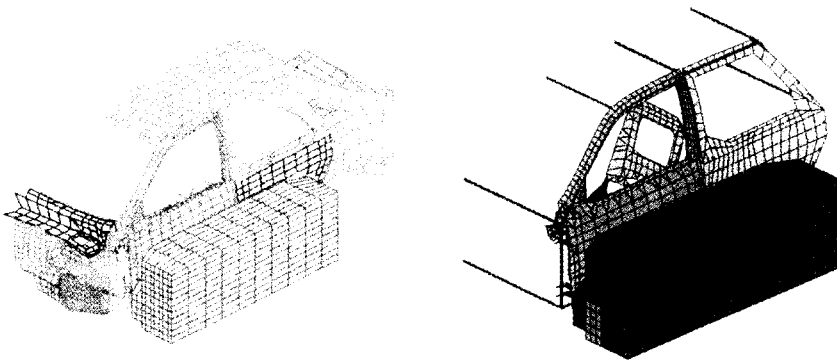


Fig. 8 Initial configuration of simplified side impact model

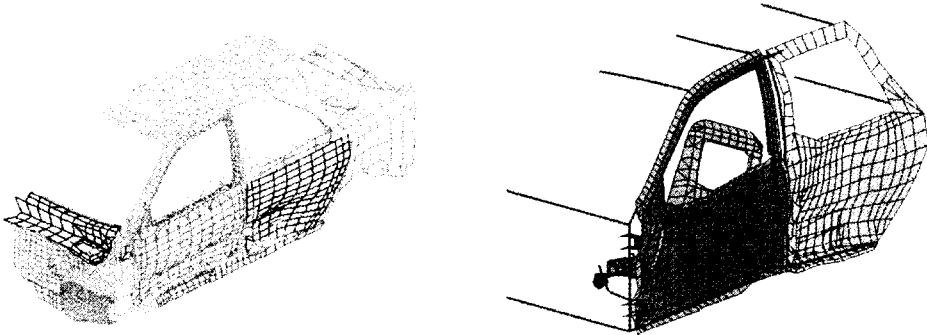


Fig. 9 Deformed shape of simplified side impact model

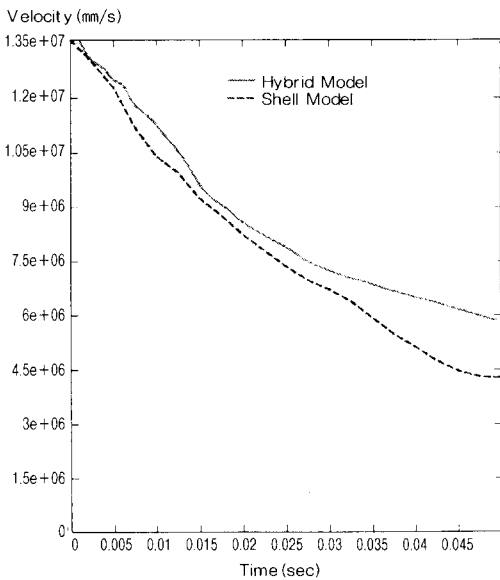


Fig. 10 Comparison of MDB velocity

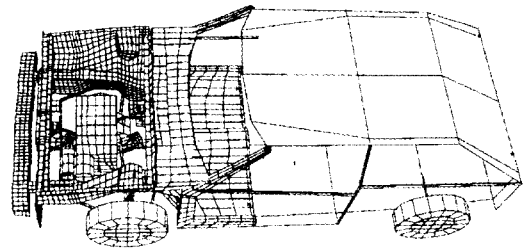


Fig. 11 Honda사의 Civic 모델

석모델은 정면충돌해석을 수행하기에는 다소 요소수가 적으나, 해석시간이 많이 소요되지 않고도 차량의 주요부재들은 모델링 되어 있기 때문에 차량의 정면충돌 특성을 살펴보기에는 좋다. 차량의 대부분의 부분들은 쉘요소로 모델링되어 있으며, 도어부분과 현가장치 및 축 등은 빔요소로 모델링하였다. 차량 모델에 사용된 절점 및 쉘요소 개수는 각각 5,466개와 5,432 개이다.

Honda상의 Civic 모델을 AutoCRASH로 해석을 수행하여 그 결과를 LS-DYNA3D로 해석한 결과와 비교하여 Fig. 12, Fig. 13 그리고 Fig. 14에 도시하였다. Fig. 12는 center floor에서의 가속도 값을 그리고 Fig. 13에는 엔진 상단부에서의 가속도를 비교하였다.

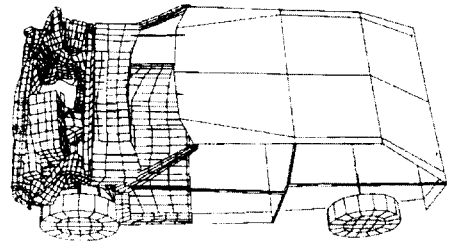
Fig. 14에 변형형상을 나타내었다.

3.2 Offset 충돌해석

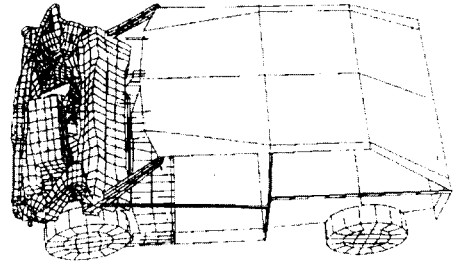
Honda사의 Civic 모델을 이용하여 offset 충돌해석을 수행하였다. 충돌속도는 35mph로 40% offset된 강체벽에 충돌하게 되며 해석 모델과 충돌후의 변형 형상을 Fig. 15에 나타내었다.

3.3 Seled 해석

개발된 에어백 모듈과 안전벨트 모듈을 정면충



(a) 30 msec



(b) at 60 msec

Fig. 14 Deformed shape

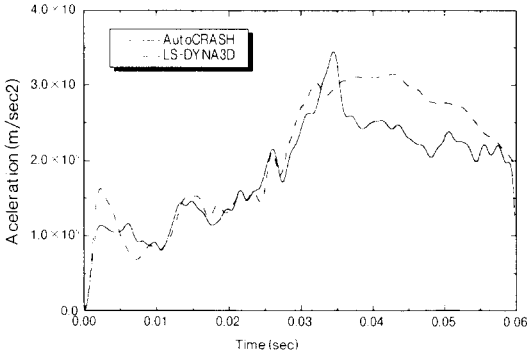


Fig. 12 Acceleration curves in center floor

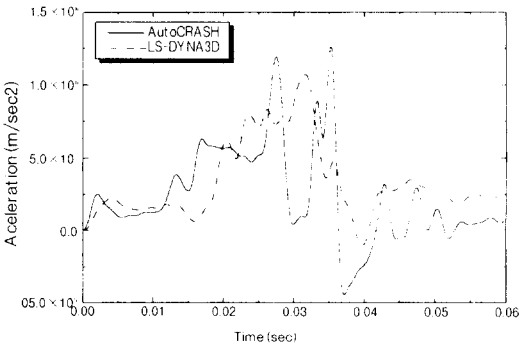
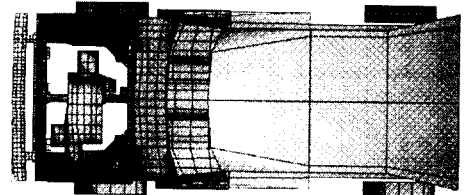
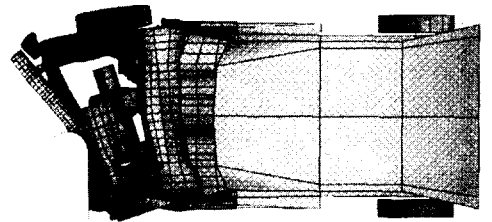


Fig. 13 Acceleration curves in engine block



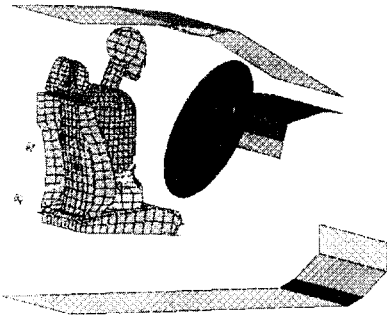
(a) Offset 충돌해석 모델



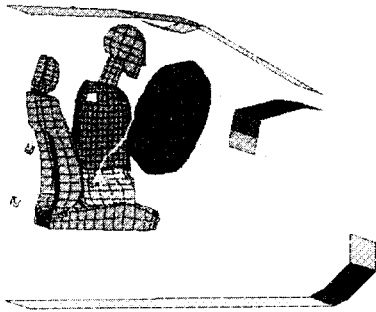
(b) at 40 msec

Fig. 15 Offset 충돌해석

돌해석을 적용하기 위해서 Sled해석을 수행하였다. 해석모델은 4859개의 절점과 4509개의 셀 요소로 구성되었으며, Fig. 16에 해석모델과 변형후의 형상이 나타나 있다.



(a) Initial configuration



(b) Deformed shape at 60 msec

Fig. 16 에어백과 안전벨트를 포함한 Seld 해석

4. 결 론

자동차 충돌해석 프로그램인 AutoCRASH를 개발하였고, 측면 충돌 hybrid model 개발/해석 및 정면충돌해석을 수행 하였다.

1) 해석결과를 통해 변형을 관찰하여 주요 부재의 단면특성과 비슷한 굽힘반력특성을 갖는 보요소로 치환한 후 초기 차량개발시 승객의 거동이나 도어의 충돌특성에 대한 연구에 효과적으로 시간을 절약할 수 있는 Hybrid model을 제작하였다.

2) 개발된 프로그램을 사용하여 자동차 정면 및 offset 충돌에 대한 해석을 수행하였다.

3) 에어백과 안전벨트를 포함한 Seld 해석을 통하여 AutoCRASH가 승객거동해석을 수행할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

1. T. Frank and K.Gruber, "Numerical Simulation of Frontal Impact and Frontal Offset Collision", CRAY channel, winter, 1992
2. Heung-Soo Kim, Shin-you Kang, In-Hyuk Lee, Shin-Hee Park and Dong-Chul Han, "Vehicle Frontal Crashworthiness Analysis by Simplified Structure Modeling using Nonlinear Spring and Beam Elements", int. J. Crashworthiness, Vol. 2, No. 1. 1997
3. W. Abramowicz, T. Wierzbicki, "Axial Crushing of Multicorner Sheet Metal Columns", J. of Applied Mechanics, Vol. 56, 1989, pp.133~120
4. T. Wierzbicki, "Stress Profiles in Thin-Walled Prismatic Columns Subjected to Crush Loading-II", Computer & Structures, Vol. 51, No. 6, 1994, pp.625
5. Dusan Kecman, "Beanding Collapse of Rectangular and Square Section Tubes", Int. J. Mech. Sei, Vol. 25, No. 9~10, 1983, pp. 623~636
6. Karl Gruber, Martin Herrmann, and Martin Pitzer, "Computer Simulation of Side Impact Using Different Mobile Barriers", SAE paper No. 910323
7. C. Adrian Hobbs, "Dispelling the Misconceptions about Side Impact Protection", SAE paper No. 950879
8. Tatsumasa Okamoto, Nobuhiko Takahashi, "Analysis of Dummy Readings Affected by Secondary Impact Point Intensity in Side Impact Tests", 13'th International Technical Conference on Experimental SAFETY Vehicles